

УДК 539.4

Кравчук А.В.; Кондряков Є.О. к.т.н.

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТА ВИРІЗАННЯ ЗРАЗКІВ ВІДНОСНО НАПРЯМКУ ПРОКАТУ НА ЕНЕРГІЮ ДЕФОРМУВАННЯ ТА РУЙНУВАННЯ ЗРАЗКІВ ШАРПІ

Kravchuk A., Kondryakov E.

G.S.Pisarenko Institute for Problems of Strength, Kyiv, Ukraine ([kondryakov@ipp.kiev.ua](mailto:kondryakov@ipp.kiev.ua))

### STUDY OF ROLLING DIRECTION INFLUENCE ON DEFORMATION AND FRACTURE ENERGY OF THE CHARPY SPECIMENS

Було проведено серію ударних випробувань стандартних зразків Шарпі зі сталі Ст.3, отриманих зі стінки посудини високого тиску, з контролем за напрямком прокату. Визначено значення повної енергії деформування та руйнування та її складових: енергії зародження тріщини, енергії в'язкого підростання тріщини, енергії проскоку крихкої тріщини та енергії в'язкого долому. Проведено аналіз впливу напрямку прокату на енергетичні характеристики сталі Ст.3. Виявлено, що при низьких температурах випробування вплив напрямку вирізки зразків на значення енергій незначний. Встановлено, що температура крихкості для зразків, вирізаних уздовж напрямку прокату (групи А), вища, ніж для зразків двох інших груп (В і С).

Ключові слова: зразок Шарпі, напрямок прокату, енергія деформування та руйнування. Ключові слова: зразок Шарпі, напрямок прокату, енергія деформування та руйнування.

#### Вступ

В наш час в різних галузях промисловості, в тому числі в атомній енергетиці, для визначення критичної температури крихкості застосовуються ударні випробування зразків Шарпі. Для цього використовується різне обладнання та методики оцінки, що призводить до великого розкиду результатів. Тому важливою задачею є підвищення інформативності ударних випробувань з використанням існуючих експериментальних методик.

Використання сучасних високошвидкісних систем реєстрації дозволяє отримати більше інформації за результатами одного випробування, насамперед розділити повну енергію деформування та руйнування на складові. Важливий вплив на характеристики матеріалу має вибір положення вирізаних зразків відносно напрямку прокату [1].

В даній роботі було проведено серію випробувань стандартних зразків Шарпі з маловуглецевої сталі Ст3 в широкому діапазоні температур. Зразки були вирізані зі стінки посудини високого тиску у трьох різних напрямках: вздовж прокату, поперек прокату та під кутом 45° до напрямку прокату.

**Мета.** Основною задачею даної роботи є вивчення впливу кута вирізання зразків відносно напрямку прокату на енергетичні характеристики сталі Ст3.

**Методика випробувань та обробки результатів.** Ударні випробування проводились на інструментованому вертикальному копірі [2], обладнаному багатоканальною системою реєстрації зусиль та деформацій (частота дискретизації 20 МГц), а також системою нагріву та охолодження зразків у широкому діапазоні температур [3]. Об'єктом досліджень служили стандартні зразки Шарпі розміром 55 x 10 x 10 мм зі сталі Ст3 [4, 5]. Випробування проводились в діапазоні температур -50 ÷ +50 °С при швидкості удару  $V_0 = 4,4$  м/с.

Серія випробувань включала 18 стандартних зразків Шарпі, вирізаних в трьох різних напрямках відносно прокату із посудини високого тиску, як зазначено на рис.1а. Зразки групи А були вирізані вздовж напрямку прокату, зразки групи В були вирізані під кутом 90° до напрямку прокату, зразки групи С були вирізані під кутом 45° до напрямку прокату.

Характер руйнування зразків змінювався в залежності від температури випробувань та швидкості деформування. Висока чутливість системи реєстрації дозволяла розділити діаграму навантаження на характерні ділянки та розрахувати значення повної енергії деформування та руйнування та її складових: енергії зародження тріщини, енергії в'язкого підростання тріщини, енергії проскоку крихкої тріщини та енергії в'язкого долому (рис.1.б) [6].

Величину складових енергій визначали згідно методики, яка пропонується в стандарті [4], яка передбачає перетворення діаграми  $P(t)$  шляхом подвійного послідовного інтегрування в діаграму  $P(s)$  за рівняннями:

$$s(t) = v \int_{t_0}^t v(t) dt$$

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m} \int_{t_0}^t P(t) dt$$

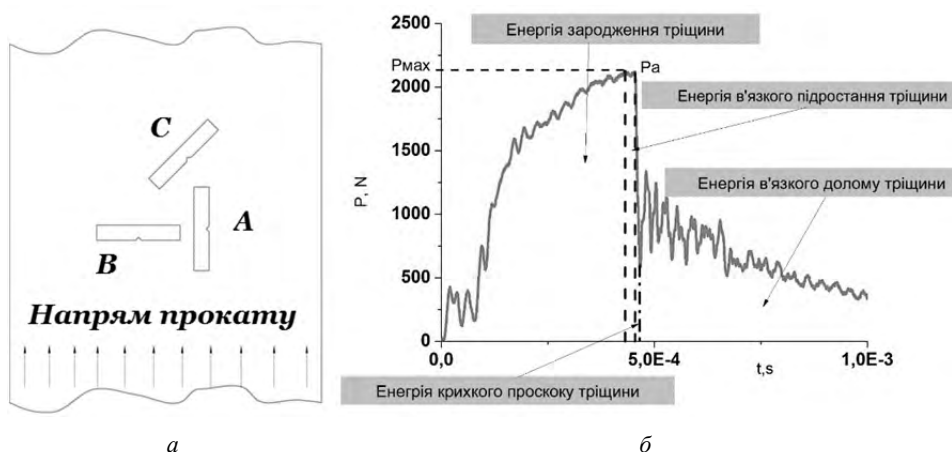


Рис. 1. а - Схема вирізки зразків Шарпі відносно напрямку прокату; б – розділення діаграми навантаження  $P(t)$  на характерні ділянки

За діаграмою  $P(s)$  можна визначити всі складові енергії, як площу під відповідною ділянкою кривої. Схема перетворення діаграм  $P(t)$  в діаграми зображена на рис. 2.

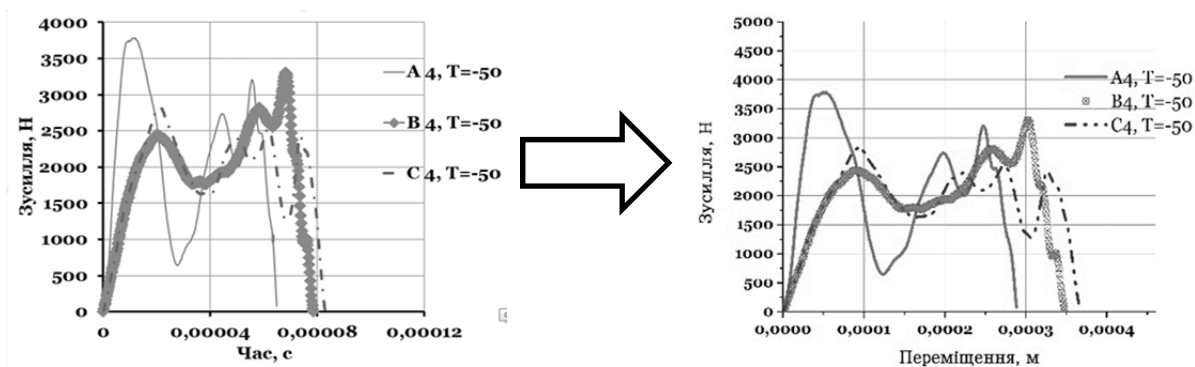


Рис. 2. Схема перебудови діаграм «Зусилля – час» в діаграму «Зусилля – переміщення»

**Аналіз результатів випробувань.** Характерні діаграми зміни зусилля від переміщення представлені на рис. 3. При випробуванні зразків за температури  $-50^{\circ}\text{C}$  (рис.3,а) спостерігається крихке руйнування для трьох типів зразків. В той же час за кімнатної температури повністю крихке руйнування мають зразки групи А, В (рис. 3,б), зразки групи С мають в'язко-крихкий тип руйнування. За температури  $+50^{\circ}\text{C}$  для зразків групи А залишається чітко окреслена ділянка крихкого проскоку тріщини (рис 5,в), в той час, як зразки групи В і С мають повністю в'язкий тип руйнування.

Отже при низьких температурах випробування вплив напрямку вирізки зразків незначний, а при підвищених температурах напрям вирізки впливає на характер деформування та руйнування зразків.

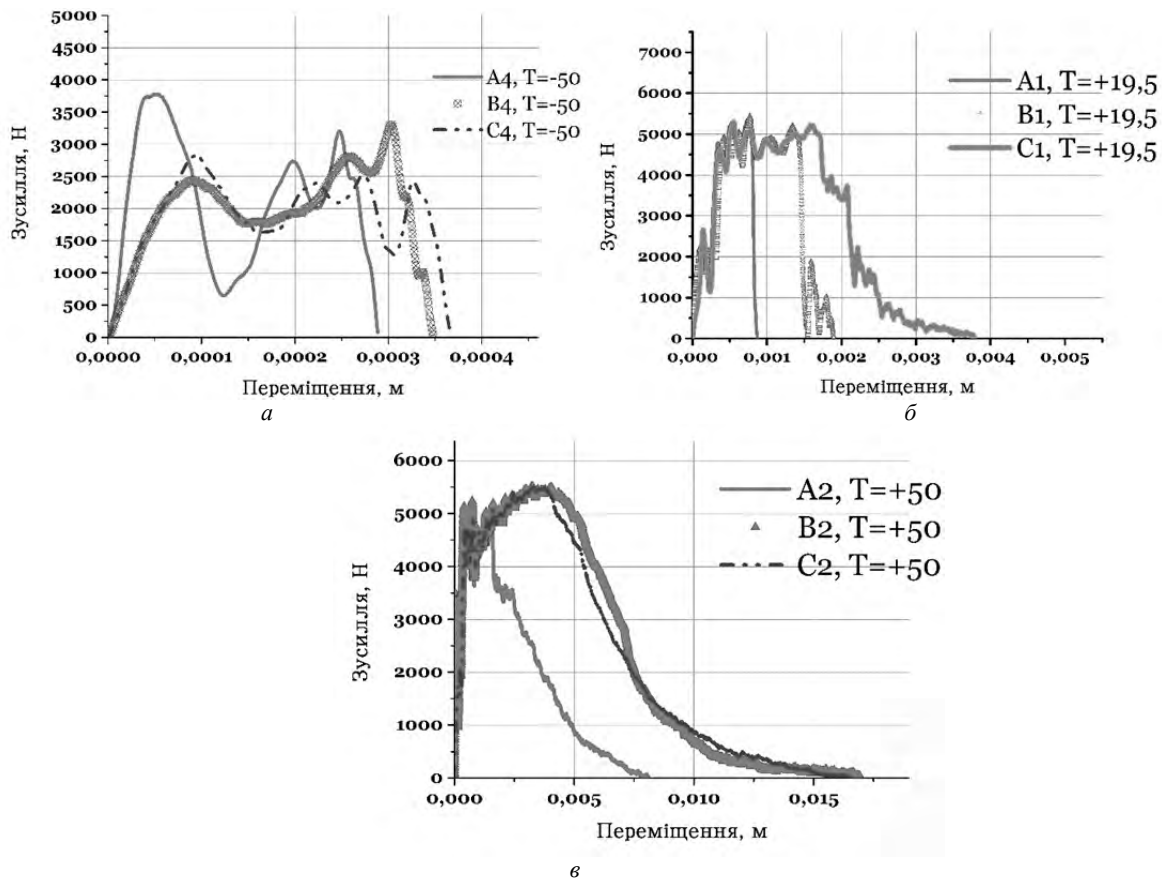
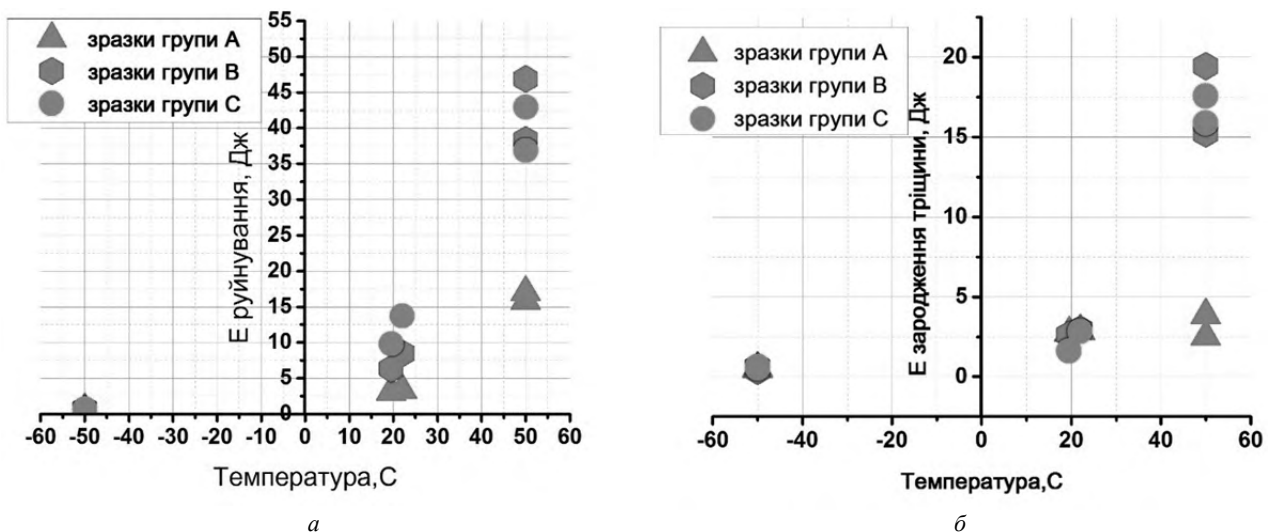


Рис. 3. Діаграми руйнування зразків трьох типів а- за температури випробувань  $-50^\circ\text{C}$ ; б – за кімнатної температури випробувань; в – за температури випробувань  $+50^\circ\text{C}$

На рис. 4 представлено температурні залежності повної енергії деформування та руйнування та її складових для всіх типів зразків. Як показано, при низьких температурах випробування напрямок вирізки зразків майже не впливає на значення енергій. За температури випробувань  $+50^\circ\text{C}$  зразки групи В і С мають повністю в'язкий тип руйнування, що відповідає ділянці верхнього шельфу кривої в'язко-крихкого переходу. Значення повної енергії деформування та руйнування на верхньому шельфі для зразків груп В і С складають  $40 \div 45$  Дж. У той же час для зразків групи А повна енергія при  $T = +50^\circ\text{C}$  значно менша – 15 Дж, що відповідає ділянці в'язко-крихкого переходу. Отже критична температура крихкості для зразків, вирізаних уздовж напрямку прокату (групи А), вища, ніж для зразків двох інших груп (В і С).



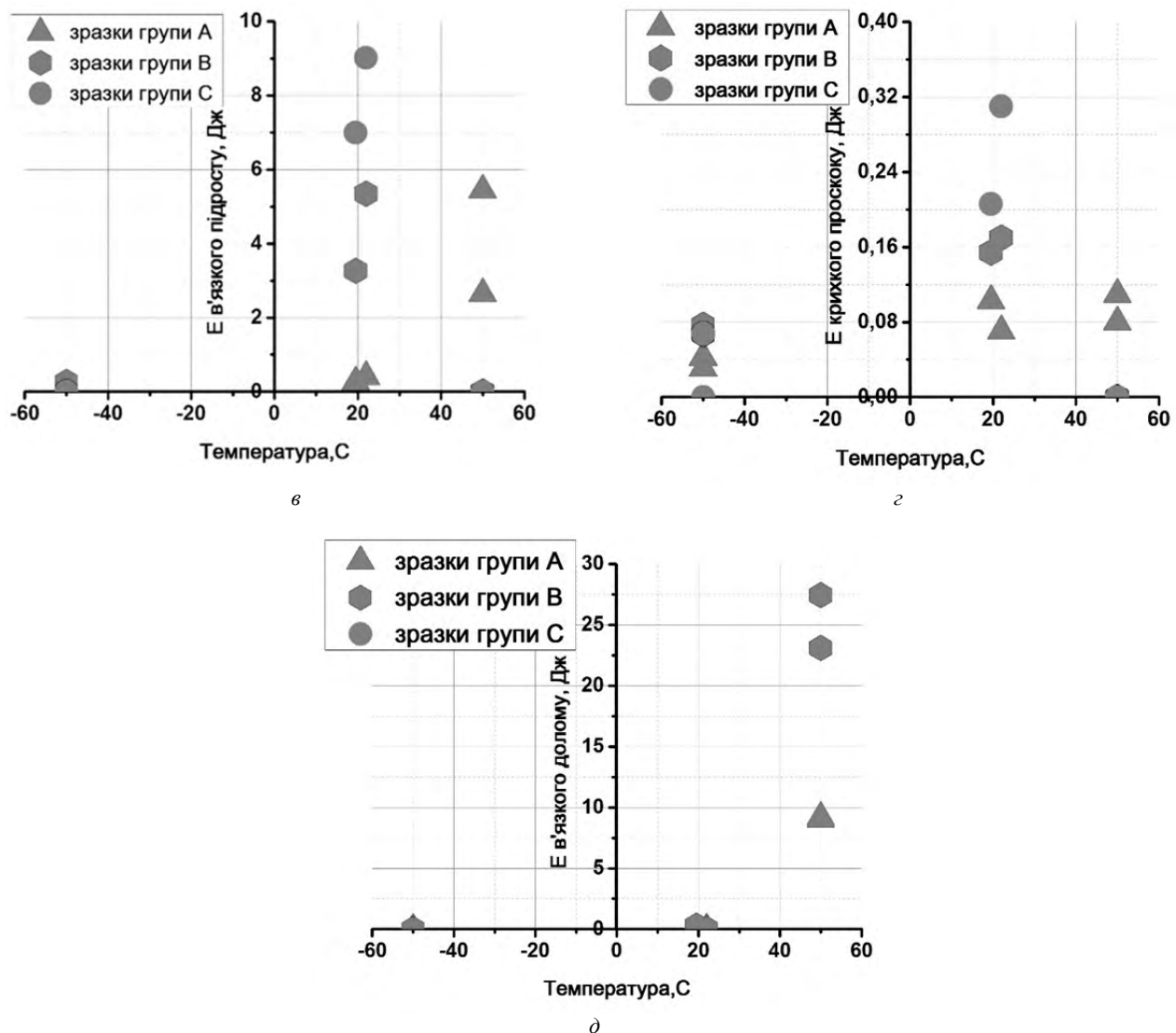


Рис. 4. Температурні залежності повної енергії деформування та руйнування (а) та її складових: енергії зародження тріщини (б), енергії в'язкого підростання тріщини (в), енергії крихкого проскоку тріщини (г) та енергії в'язкого долому (д) для трьох типів зразків

#### Висновки

- Проведено серію ударних випробувань зразків типу Шарпі зі маловуглецевої сталі Ст3, вирізаних у трьох різних напрямках з листа прокату, у діапазоні температур  $-50 \div +50$  °C.
- Визначені значення повної енергії деформування та руйнування та її складових: енергії зародження тріщини, енергії в'язкого підростання тріщини, енергії проскоку крихкої тріщини та енергії в'язкого долому.
- В результаті випробувань зразків трьох груп А, В, С було виявлено, що при низьких температурах випробування вплив напрямку вирізки зразків на значення енергій незначний.
- Встановлено, що температура крихкості для зразків, вирізаних уздовж напрямку прокату (групи А), вища, ніж для зразків двох інших груп (В і С).

#### Анотація.

Была проведена серия ударных испытаний стандартных образцов Шарпи из малоуглеродистой стали, полученных из стенки сосуда высокого давления, с контролем по направлению проката. Определена полная энергия деформирования и разрушения и ее составляющие: энергия зарождения трещины, энергия хрупкого и вязкого разрушения. Произведен анализ влияния направления проката на энергетические характеристики малоуглеродистой стали. Выявлено, что при низких температурах испытаний влияние направления вырезки образцов на значения энергий незначительно. Установлено, что

температура хрупкості для образців, вирізаних вздовж напрямлення проката (групи А), вище, ніж для образців двох інших груп (В і С).

**Ключевые слова:** образец Шарпи, направления проката, энергия деформирования и разрушения.

#### **Abstract.**

**Purpose.** The object of this paper is to study the effect of rolling direction on energy characteristics from low-carbon steel St3.

**Design/methodology/approach.** Charpy specimens impact tests are one of more simple and inexpensive method to determine the mechanical properties of materials. The results of these tests can be used to estimate the strength and durability of large-scale structures. Material properties obtained from tests depend on the direction of rolled steel from which they are derived. It is necessary to control the rolling direction of produced specimens to obtain conservative results.

**Findings.** A series of Charpy specimens impact test from low-carbon steel were carried out in the temperature range of  $-50 \div +50^{\circ}\text{C}$  with control of rolling direction. The values of total energy of deformation and fracture and its components: energy of crack initiation, energy of ductile crack growth, brittle cracks energy and ductile rupture energy were determined. From the test results of three groups A, B, C of specimens, it was shown that at low temperatures the rolled direction has almost no effect on energy values. It was found, that ductile-brittle transition temperature for specimens cut along the rolling direction (Group A) higher than for specimens of other two groups (B and C).

**Keywords:** Charpy specimen, rolled direction, energy of deformation and fracture.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Красовский, А.Я., Краси́ко, В.Н. *Трещиностойкость сталей магистральных трубопроводов*. - Киев: Наук. думка. 1990. - 176 с.
2. Харченко, В.В., Кондряков, Е.А., Жмака, В.Н., Бабуцкий, А.А. / *Инструментированный копер для ударных испытаний: основные элементы, анализ работоспособности* // Надёжность и долговечность машин и сооружений. – 2006. - №27. - С. 121-130.
3. Кондряков, Е.А., Жмака, В.Н., Харченко, В.В. и др. / *Система измерения деформаций и усилий при динамических испытаниях* // Проблемы прочности, - 2005.- № 3. - С. 140 - 146.
4. ISO 14556. *Steel Charpy V-Notch Pendulum Impact Test – Instrumented Test Method*. - 05.01.2005.
5. ГОСТ 9454-78. *Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах*. - Введ. 01.01.79.
6. Харченко, В.В., Кондряков, Е.А., Жмака, В.Н., Бабуцкий, А.А., Бабуцкий А. И / *Влияние температуры и скорости нагружения на энергию зарождения и распространения трещин в образцах Шарпи из углеродистых сталей* // ISSN 0556-171X. Проблемы прочности, 2006, № 5

#### **References**

1. Krasovskyy, A.J. and Krasyyko, V.N. (1990), *Treshynostoykosti stalei mahystralnyh truboprovodov*, Science. Dumka, Kyiv, Ukraine.
2. Kharchenko, V.V., Kondryakov, E.A., Zhmaka, V.N. and Babutsky, A.A. (2006), “Koper instrumented impact test: basic elements, analysis of efficiency”, *Instrumenrovanyi koper dlya ydarnich ispitaui, osnovnie elementi, analiz rabotosposobnosti*, Durability and reliability of machines and structures, no 27, pp. 121-130.
3. Kondryakov, E.A., Zhmak, V.N. and Kharchenko, V.V. and dr. (2005), “The system of measurement of deformations and forces in dynamic tests”, *Sistema izmereniya deformatsiy i ysilyi pri dinamicheskikh ispitaniiach*, Problems of strength, no 3, pp. 140 - 146.
4. ISO 14556. *Steel Charpy V-Notch Pendulum Impact Test - Instrumented Test Method*, 05.01.2005.
5. GOST 9454-78, 1.1.79, *Metal, Method ispitaniiya na ydarniy izgib pri ponizhenih, komnatnoi i povishenih temperaturah ispitanii* [Metals, Test method for impact strength at low, ambient and elevated temperatures], Kyiv, Ukraine.
6. Kharchenko, V.V., Kondryakov, E.A., Zhmaka, V.N., Babutsky, A.A. and Babutsky, A.I. (2006), *Vliyanie temperaturi i skorosti nagryzheniya na energiy zarozhdeniya i rasprostraneniya treschin v obrazcah Sharpi iz yglerodistykh stalei*, [Effect of temperature and loading rate on energy initiation and propagation of cracks in the Charpy specimens from carbon Steels], ISSN 0556-171X. Problems prochnosty, no 5.

Подана до редакції 16.09.2016